
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802R022 – Informatika a logistika

Vyhodnocení spolehlivosti vybraných výrobních zařízení v ARGO-HYTOS s.r.o. Vrchlabí

Reliability evalution of selected production equipment in ARGO-HYTOS Ltd. Vrchlabí

Bakalářská práce

Autor:	Milan Příbyl
Vedoucí práce:	Ing. Jan Kamenický Ph.D.
Konzultanti:	Ing. Radim Doležal Ing. Radomír Šťásek

V Liberci 18. 5. 2010

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 18. 5. 2010

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především Ing. Janu Kamenickému Ph.D. za veškeré rady, poznámky, ochotu a trpělivost, kterou mi při vedení této práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat firmě ARGO-HYTOS s.r.o., že mi poskytla data, potřebná k vytvoření této bakalářské práce a konzultantům Ing. Radomírovi Štástkovi, který byl mým zprostředkovatelem s firmou ARGO-HYTOS s.r.o. a Ing. Radimu Doležalovi. Nakonec bych také rád poděkoval rodině a přátelům za jejich podporu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá spolehlivostí výrobních zařízení a cílem je seznámení se základy spolehlivosti a analýzami výrobních zařízení. Za účelem analyzování a vyhodnocení poruchovosti vybraných výrobních zařízení ve společnosti ARGO-HYTOS s.r.o. byly vybrány dvě analýzy: Paretova analýza a analýza FMEA.

Paretova analýza představuje v bakalářské práci statistickou metodu, používanou pro výběr nejvýznamnějších kategorií poruch. Obdržená data poruchovosti výrobních zařízení byly rozděleny do kategorií podle typu poruchy, seřazeny podle četností a následně z nich byl vytvořen graf, z kterého už lze jednoduše určit, které poruchy jsou nejzávažnější.

Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA) představuje metodu kvantitativní, která je také používána pro vyčlenění nejdůležitějších poruch, avšak ne graficky, ale ohodnocením jednotlivých poruch zvlášť a zapsáním do formuláře. Ohodnocení poruch je prováděno podle navržených kritérií a to podle kritéria závažnosti, výskytu a odhalitelnosti potencionální poruchy.

Hlavním úkolem této práce bylo použití teoretických poznatků z oblasti spolehlivosti a následné aplikování při tvorbě analýz výrobních zařízení v ARGO-HYTOS s.r.o.

Spolehlivost, Paretova analýza, Analýza FMEA, ARGO-HYTOS s.r.o.

Abstract

This bachelor thesis is focused on reliability of production facilities and the main aim is familiarization with the basics reliability a production facilities analyses. There have been chosen twon analyses: the Pareto analysis and the FMEA analysis for reason analyzing and evaluation of production facilities failure rate in ARGO-HYTOS Ltd.

In this thesis the Pareto analysis presents method for selection of the most signifiant cathegorie of failures. Obtained indications of production facilities failure rate were dividend in to the cathegories in compliance with sort of failure, arranged accorging to frequency and consequently was design a graph from this dates. From this graph is possible to establish the most relevant failures more easily.

The failure mode and effects analysis (FMEA) presents quantitative method, which is used for split the most important failures off. This analysis is typical by valuation each type of failure apart and writing the results in to the form. Failure assessment conducted by designed conditions. In the concrete relevance, occurrance and estimation of failure potential.

The main objective of this presented thesis was using theoretical evidences from reliability area and successive aplication in production facility creation in ARGO-HYTOS Ltd.

Reliability, Paret's analysis, FMEA analysis, ARGO-HYTOS Ltd.

Obsah

PROHLÁŠENÍ	3
PODĚKOVÁNÍ.....	4
ABSTRAKT	5
ABSTRACT.....	6
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
1. ÚVOD.....	10
2. TEORETICKÉ POZNATKY	11
2.1 SPOLEHLIVOST.....	11
2.2 PARETOVA ANALÝZA	14
2.3 ANALÝZA FMEA/FMECA.....	15
2.3.1 Úvod.....	15
2.3.2 Historie.....	16
2.3.3 Účely a cíle.....	17
2.3.4 Použití.....	17
2.3.5 Druhy FMEA	18
2.3.6 Stanovení způsobu poruch.....	19
2.3.7 Klasifikace závažnosti	20
2.3.8 Postup analýzy.....	21
2.4 TVORBA FORMULÁŘE ANALÝZY FMEA	22
2.4.1 Popis jednotlivých pozic formuláře FMEA	24
3. VYPRACOVÁNÍ ANALÝZ	33
3.1 PARETOVA ANALÝZA	33
3.1.1 Vytvoření Paretovy analýzy.....	33
3.1.2 Vyhodnocení Paretovy analýzy	37
3.2 ANALÝZA FMEA	37
3.2.1 Vytvoření analýzy FMEA	37
3.2.2 Vyhodnocení analýzy FMEA	46
4. ZÁVĚR.....	47
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	48

Seznam použitých symbolů a zkratk

A	součinitel (ustálené) pohotovosti
\bar{A}	součinitel střední nepohotovosti
D	ukazatel detekce poruchy v analýze FMEA
F	pravděpodobnost poruchy
O	ukazatel výskytu poruchy v analýze FMEA
P	pravděpodobnost
R	pravděpodobnost bezporuchového provozu
S	ukazatel závažnosti poruchy v analýze FMEA
U	součinitel (ustálené) nepohotovosti
f	hustota poruchy
t	časové období
λ	intenzita poruch
μ	intenzita oprav
ξ	porucha
s. r. o.	společnost s ručením omezeným
AIAG	Automotive Industry Action Group (akční skupina automobilového průmyslu)
CNC	Computer Numerical Control (počítačově řízené systémy)
ČSN	Česká technická norma
DRBFM	Design Review Based on Failure Mode (posouzení návrhu založeného na způsobu porušení)
EN	Evropská norma
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis (analýza způsobů a důsledků poruch)
FMECA	Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis (analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch)
HACCP	Hazard Analysis Critical Control Points (analýza nebezpečí a kritických kontrolních bodů)

IEC	International Electrotechnical Commision (mezinárodní úřad pro elektrotechniku)
ISBN	International Standard Book Number (mezinárodní standardní číslo knihy)
Ltd.	Limited company (společnost s ručením omezeným)
MTBF	Mean Time Between Failures (střední doba mezi poruchami)
MTTR	Mean Time To Restore (střední doba do obnovení)
PDF	Portable Document Format (formát dokumentu)
RPN	Risk Priority Number (číslo priority rizika)
URL	Uniform Resource Locators (jednotný popis umístění zdroje)

1. Úvod

Spolehlivost je v dnešní době velice významný obor v technických aplikacích. Proto je i u nás v posledním době čím dál více upřena pozornost ke kvalitě výroby a dalších činností s výrobou a její spolehlivostí souvisejících.

Teorie spolehlivosti je metoda, která pomáhá zabezpečit bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost jednotlivých výrobků nebo systémů. Neuvědomění si významu této metody, může vést k tomu, že výrobky a systémy poté budou vyžadovat častější opravu, vysoké náklady na údržbu, nebo dokonce vyřazení z provozu.

V bakalářské práci jsem spolupracoval s firmou ARGO-HYTOS s.r.o. se sídlem ve Vrchlabí. Tato firma je specialistou ve filtrační, řídicí a regulační technice. Firma se skládá ze dvou podniků. Podnik ARGO má velké zkušenosti s filtrací hydraulických kapalin, a zvláště v mobilní hydraulice získal podnik se sídlem v Kraichtalu, v Německu významné místo na trhu. Podnik HYTOS je specialistou v řídicí a regulační technice se sídlem ve Vrchlabí a patří k celosvětově předním výrobcům hydraulických prvků a systémů pro průmyslovou a mobilní hydrauliku. Pod názvem ARGO-HYTOS vytváří oba podniky systémového partnera.

Hlavním úkolem bakalářské práce bylo zpracovat vstupní data a z obdržených dat vypracovat analýzy spolehlivosti výrobních zařízení. Na základě provedených analýz bylo potřeba provést vyhodnocení.



2. Teoretické poznatky

2.1 Spolehlivost

Vznik a rozvoj spolehlivosti

Hlavní rozvoj spolehlivosti lze datovat do padesátých let dvacátého století, kdy nastává hlavní rozvoj technických odvětví, vznik rozsáhlých technických soustav, vznikají stále složitější výrobky a také se začíná spolehlivost využívat v armádní technice. Základem spolehlivosti je statistika, pravděpodobnost a matematická statistika. V současné době je teorie spolehlivosti velice propracovaná a běžně používána v různých odvětvích výroby.

Definice spolehlivosti

První definice spolehlivosti

Spolehlivost: Pravděpodobnost, s jakou bude objekt schopen plnit bez poruchy požadované funkce po stanovenou dobu a v daných provozních podmínkách.

Spolehlivost ztotožněna s bezporuchovostí. Definice nevystihovala spolehlivost složitých opravovaných systémů. V angličtině byla takto pojatá spolehlivost označována pojmem Reliability.

Druhá definice spolehlivosti

Spolehlivost: Obecná schopnost výrobku plnit požadované funkce po stanovenou dobu a v daných podmínkách, která se vyjadřuje dílčími vlastnostmi, jako jsou bezporuchovost, životnost, opravitelnost, pohotovost apod.

Spolehlivost již pojímána jako obecná vlastnost. Není redukována jen na bezporuchovost, ale uvažuje další vlastnosti. Spolehlivost je tedy definována jako obecná vlastnost, která má svoje další dílčí vlastnosti, pro které také byly definovány konkrétní číselné ukazatele. Pro označení takto definované spolehlivosti byl v angličtině ovšem i nadále používán pojem Reliability. Nadále proto přetrvává problém s terminologií, termín je také používán k označení bezporuchovosti.

Třetí definice spolehlivosti dle ČSN IEC 50(191)

Spolehlivost: Souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují: bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby (používá se pouze pro obecný nekvantitativní popis).

Spolehlivost služby: Schopnost poskytnutí služby na požádání uživatele a její zabezpečení po požadovanou dobu ve specifikovaných tolerancích a jiných daných podmínkách. Poznámka: Spolehlivost služby lze dále rozdělit na pohotovost služby a nepřetržitost služby.

Spolehlivost je nyní v angličtině označována pojmem Dependability a původní pojem Reliability je již v normách výhradně používán pouze pro označení bezporuchovosti [3].

Ukazatele spolehlivosti

Spolehlivost se používá pouze pro obecný nekvantitativní popis. Vyčíslení spolehlivosti se provádí prostřednictvím souboru ukazatelů spolehlivosti, jejichž hodnoty pak kvantifikují jednotlivé parametry spolehlivosti. Pro číselné vyjádření těchto ukazatelů se využívá teorie pravděpodobnosti a matematická statistika. Existují tři hlavní kategorie ukazatelů spolehlivosti.

- a) ukazatele pohotovosti vyjadřující pravděpodobnost, že výrobek je ve stavu schopen plnit požadovanou funkci: lze uvést např. součinitel (ustálené) pohotovosti A , součinitel (ustálené) nepohotovosti U , příp. součinitel střední nepohotovosti \bar{A} ,
- b) ukazatele bezporuchovosti (ukazatele spojené s poruchami výrobků): např. pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$, intenzita poruch $h(t)$, střední doba provozu mezi poruchami MTBF,
- c) ukazatele udržitelnosti (kvantifikují aspekty údržby výrobků): např. intenzita opravy $\mu(t)$, střední doba opravy, střední doba do obnovy MTTR.

V procesním průmyslu je spolehlivost jednou z nejdůležitějších vlastností, které charakterizují jakost výrobních zařízení příslušných provozů. Spolehlivost zařízení je nejvíce ovlivněna projektem (návrh zařízení s požadovanou úrovní spolehlivosti),

výrobou zařízení (po užití projektem předepsaných materiálů, součástek, výrobních a kontrolních postupů) a údržbou zařízení [8].

Mějme spojitou proměnnou (*typicky čas* $t \geq 0$) a uvažujme pravděpodobnost, že porucha ξ nastane v čase t . Pravděpodobnost poruchy $F(t)$ definujeme jako distribuční funkci spojitě nezávislé veličiny ξ .

Pravděpodobnost poruch

$$F(t) = P(\xi \leq t) \quad (2.1)$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ je definována jako doplněk k pravděpodobnosti poruchy.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.2)$$

Což je pravděpodobnost, že porucha nenastane dříve než v čase t .

$$R(t) = P(\xi > t) \quad (2.3)$$

Intenzita poruch je podíl hustoty a pravděpodobnosti bezporuchového provozu.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (2.4)$$

Dále musí platit, že součet pravděpodobnosti bezporuchového chodu a pravděpodobnosti poruchy se musí rovnat jedné.

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.5)$$

Střední doba mezi poruchami je u exponenciálního rozdělení rovna převrácené hodnotě intenzity poruch.

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

Střední doba do obnovy je rovna převrácené hodnotě intenzity oprav.

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (2.10)$$

2.2 Paretova analýza

Paretova analýza je statistická technika při rozhodování, která se používá pro výběr omezeného počtu úkolů, které vytvářejí významný celkový efekt. Analýzu definoval italský ekonom Vilfredo Pareto v roce 1897. Paretova analýza, též nazývaná jako analýza ABC, je založena na pravidlu 80/20, kdy 80% následků způsobuje 20 % příčin. Toto pravidlo zdůrazňuje fakt, že není nutné zabývat se všemi příčinami, nýbrž že pro dostatečný efekt stačí postihnout pouze nejdůležitější z nich.

V oblasti řízení jakosti je Paretův princip jedním z nejefektivnějších běžně dostupných a snadno aplikovatelných rozhodovacích nástrojů. Umožňuje oddělit podstatné faktory (např. příčiny určitého problému) od méně podstatných a ukázat, kam zaměřit úsilí při odstraňování nedostatků v procesu zabezpečování jakosti.

Poprvé použil Paretův princip americký odborník na jakost J. M. Juran. Ten zformuloval závěr, že 80-90% problémů s jakostí je způsobeno malým počtem příčin (5-20%). Tyto příčiny nazval "životně důležitou menšinou". Na příčiny tvořící tuto menšinu je v další analýze procesu třeba přednostně zaměřit pozornost, analyzovat je do hloubky a odstranit či minimalizovat jejich působení. Ostatní příčiny (80-90%) nazval nejprve "triviální většinou", později "užitečnou většinou" [11].

Kroky potřebné k identifikaci důležitých příčin pomocí Paretovy analýzy:

- a) Získat dostatek vstupních dat,
- b) Vytvořit tabulku se seznamem příčin a jejich četností (důležitostí),
- c) Uspořádat řádky v sestupném pořadí podle četnosti (důležitosti), tedy řádek s nejvyšší četností (důležitostí) bude první,
- d) Přidat do tabulky sloupec kumulativní četnosti,
- e) Vytvořit sloupcový graf s kategorií závad na ose x a četností závad na ose y,
- f) Vytvořit spojnicový graf kumulativní četnosti, tzv. Lorenzovu křivku,
- g) Nakreslit linii vyznačující 80%, tedy linii, která odděluje nejzávažnější příčiny,

- h) Analyzovat výsledky, rozeznat příčiny a důsledky, stanovit nápravná opatření.

2.3 Analýza FMEA/FMECA

2.3.1 Úvod

Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA – Failure Modes and Effect Analysis) je systematický postup, jenž se provádí za účelem zjištění možných způsobů poruch, jejich příčin a důsledků na systém. Analýza se provádí přednostně v rané etapě vývoje, aby se daný způsob poruchy odstranil nebo se alespoň snížila míra závažnosti. Zásadně důležité je pro analýzu FMEA správné načasování. Jestliže je analýza prováděna zavčas již ve vývojovém cyklu, potom může být začlenění změn návrhu nákladově efektivní. Tudíž je velmi důležité začlenění analýzy FMEA již do fáze vývoje.

Písmeno C přidané do zkratky FMEA vyznačuje, že je do analýzy způsobů poruch zahrnuta ještě analýza kritičnosti. Kritičnost má velký počet definic a ukazatelů, většina z nich má podobný význam: dopad nebo významnost způsobu poruchy, která by mohla vyžadovat, aby se na tento způsob poruchy zaměřila pozornost a aby se zmírnil. Účelem analýzy kritičnosti je kvantifikovat relativní velikost každého důsledku poruchy jako prostředek pomáhající při rozhodování tak, aby mohla být pomocí kombinace kritičnosti a závažnosti stanovena priorita opatření ke zmírnění nebo minimalizaci důsledků určitých poruch [2].

Způsoby použití analýzy FMEA jsou rozsáhlé a mohou být použity i mimo technický návrh. Postup analýzy lze použít na jakýkoliv výrobní nebo pracovní proces. Tato analýza se používá také v nemocnicích, zdravotnických laboratořích a v mnoha dalších odvětvích.

FMEA představuje týmovou analýzu možností vzniku vad, ohodnocení jejich rizik a návrh a realizaci opatření vedoucích ke zlepšení jakosti návrhu. Je souhrnem poznatků o průběhu vývoje procesu, prováděných na základě zkušeností z minulých problémů. Tento systematický postup uspořádává postupy myšlenek, kterými technolog prochází při plánování výroby. Analýza FMEA je v současnosti nejpoužívanější metodou pro posuzování a vyhodnocování možných rizik. Používáním této analýzy lze

tedy zabránit riziku nebo alespoň zmírnit rizika, která vznikají při budování systému řízení, vývojové etapě výrobku a jeho konstrukci, v technologii při vývoji procesu a při samotné výrobě. FMEA je schopna ještě před realizací provést systematický rozbor kritických míst a tím se tak zavčas vyhnout problémům při realizaci.

Úspěšná FMEA analýza napomáhá pracovnímu týmu k tomu, aby odhalil možné způsoby poruch na základě předchozích zkušeností s podobnými produkty nebo procesy a umožní týmu navrhovat tato selhání systému s minimálním úsilím, čímž dojde ke snižování doby vývoje a nákladů. Často se používá v rozličných výrobních odvětvích, v různých fázích životního cyklu výrobku a nyní stále více nalézá použití v službě průmyslu. Zásadou FMEA je, že je lepší zabránit vzniku vady včas, než je pak odhalovat a odstraňovat, resp. hradit náklady následků vad.

FMEA je metodou, kterou je třeba uplatňovat v týmu, neboť její velikou výhodou je právě využití znalostí a zkušeností celé řady odborníků. Tým by měl být sestaven z pracovníků vývoje, konstrukce, technologie, výroby, zkušeben, útvaru řízení kvality, servisu ad. Místo v něm však naleznou například i zástupci ekonomického útvaru nebo pracovníci z oddělení zásobování. Zákazníka obvykle zastupují pracovníci marketingu. Ideální tým by měl obsahovat přibližně 5-7 členů, ale lze se setkat s týmy tvořící i 15 lidí. Pro účinnost práce týmu je důležité metodické a organizační řízení práce týmu zkušeným moderátorem[9].

2.3.2 Historie

FMEA byla oficiálně představena koncem čtyřicátých let 20. století, pro vojenské použití ozbrojených sil v USA, kdy americká armáda hledala metodu jak se vyvarovat chyb u jimi používaných strojů a zařízení. Později byla využívána pro letecký a raketový vývoj, aby se zabránilo chybám v nákladných raketových technologiích. Příkladem toho je vesmírný program Apollo, kde byla používána jako aplikace pro HACCP (analýza nebezpečí a kritických kontrolních bodů). V roce 1977 začala tuto metodu využívat automobilová společnost Ford, která uvedla FMEA analýzu v automobilovém průmyslu z bezpečnostních a regulačních důvodů. Byly použity stejné přístupy k procesům, aby zvážili možné potenciální procesy vyvolaných selhání, před zahájením výroby. Například v automobilovém koncernu Volkswagen se používá od roku 1984.

Ačkoliv původně vyvinuta pro vojenské účely, FMEA analýza je nyní široce používána v celé řadě průmyslových odvětví včetně zpracování polovodičů, zásobování, softwaru, zdravotní péče aj. FMEA je také integrována do AIAG akční skupiny automobilového průmyslu (Automotive Industry Action Group). Moderní plánování jakosti výrobku (APQP), poskytlo proces s cílem zmírnění rizika, jak v produktech, tak ve fázi vývoje procesu. Každá potenciální příčina, která má vliv na výrobek či proces musí být považována na základě rizika, akce jsou stanovené a rizika jsou upravována po kompletním procesu. Toyota vzala tuto myšlenku o krok dále s DRBFM (posouzení návrhu založeného na způsobu porušení). Tato metoda je nyní podporována i Americkým sdružením pro jakost, které poskytuje podrobné návody na použití této metody [9].

2.3.3 Účely a cíle

Cílem je definovat všechny možné vady a pro potenciálně nejrizikovější vady realizovat preventivní opatření.

Mezi důvody provádění analýzy FMEA je možné zahrnout:

- a) zjištění poruch, které mají negativní důsledky pro systém, např. znemožnění provozu nebo ovlivnění bezpečnosti uživatele;
- b) splnění požadavků zákazníka;
- c) zlepšení bezporuchovosti systému;
- d) zlepšení udržitelnosti systému;
- e) zvyšování funkční jistoty a spolehlivosti výrobků;
- f) minimalizace rizik záruky na výrobky;
- g) hospodárnější výroba

2.3.4 Použití

FMEA může poskytnout analytický přístup, při práci s potenciálními druhy poruch a jejich přidruženými příčinami. Při zvažování možných poruch v designu - jako je bezpečnost, náklady, výkonnost, kvalita a spolehlivost - může inženýr získat spoustu informací o tom, jak změnit výrobní proces, k tomu aby se zabránilo těmto poruchám. FMEA poskytuje jednoduchý nástroj k určení rizika, aby se zabránilo problému před

tím, než vznikne. Vývoj těchto specifikací zajistí, aby výrobek splňoval definované požadavky. FMEA analýzu lze aplikovat na různých kategoriích systému založených na různých technologiích (elektrických, mechanických, hydraulických atd.) [12].

FMEA je systematický sled činností, který se využívá při:

- a) vývoji a optimalizaci výrobků;
- b) plánování výroby a procesů;
- c) vyhledávání a ohodnocení možných vad výrobku nebo procesu a jejich důsledků;
- d) identifikování kroků k zabránění nebo omezení podmínek pro vznik možných vad;
- e) dokumentování procesu.

Příklady použití

- a) vývoj systémových požadavků, který minimalizují pravděpodobnost selhání,
- b) vývoj metod pro návrh a testování systémů, k tomu aby bylo zajištěno, že selhání byla odstraněna,
- c) identifikace některých konstrukčních vlastností, které přispívají k selhání a minimalizování nebo odstranění těchto účinků,
- d) sledování a řízení možných rizik v návrhu, to pomáhá vyhnout se stejným chybám v budoucích projektech,
- e) zajištění toho, že jakékoliv selhání, které by mohlo nastat, neporaní zákazníka nebo nebude mít vážné dopady na systém.

2.3.5 Druhy FMEA

- a) Procesu: analýza výrobních a montážních procesů,
- b) Konstrukce: analýza výrobků před výrobou,
- c) Koncepce: analýza systémů a subsystémů v raných fázích návrhu koncepce,
- d) Zařízení: analýza strojů a zařízení,
- e) Systému: analýza globálních systémových funkcí,

- f) Softwaru: analýza softwarových funkcí.

Systémová FMEA

Zjišťuje se co nejúplnější zkoumání výrobku s cílem odhalení všech nedostatků (které by mohl předpokládaný návrh obsahovat) již v první fázi návrhu a realizaci opatření pro odstranění nedostatků.

Konstrukční FMEA

Je založena na stejných principech jako FMEA konstrukce s tím rozdílem, že při analýze současného stavu se uplatňuje systémový přístup. Výrobek nebo proces se chápe jako systém skládající se z prvků na různých úrovních, u těchto prvků se zkoumají jejich funkce. Možné vady, jejich důsledky a příčiny se poté rozebírají jako selhání těchto funkcí.

FMEA výrobních zařízení

Je založena na stejných principech jako jiné druhy analýzy FMEA. Je používána pro analyzování strojů a zařízení a identifikování jejich potencionálních způsobů poruch.

2.3.6 Stanovení způsobu poruch

Provoz systému je závislý na technických parametrech určitých kritických prvků systému. Důležité k vyhodnocení těchto parametrů je zjištění kritických prvků systému. Postup zjišťování způsobů poruch, jejich příčin a důsledků může být zefektivněn, vypracováním seznamu způsobů poruch (viz tabulka 2.1), které je možné předvídat podle hlediska:

- a) použití systému,
- b) konkrétních použitých prvků systému,
- c) režimu provozu,
- d) patřičných provozních specifikací,
- e) časových omezení,
- f) namáhání vlivy prostředí,
- g) namáhání vlivy provozu.

Tabulka 2.1: Příklad seznamu obecných způsobů poruch

1	Porucha během provozu
2	Porucha zahájení provozu v předepsaném čase
3	Porucha ukončení provozu v předepsaném čase
4	Předčasný provoz

2.3.7 Klasifikace závažnosti

Závažnost je posouzení významnosti důsledku způsobu poruchy pro provoz objektu. Klasifikace závažnosti důsledků je závislá na aplikaci analýzy FMEA a je nutné při ní uvážit několik faktorů:

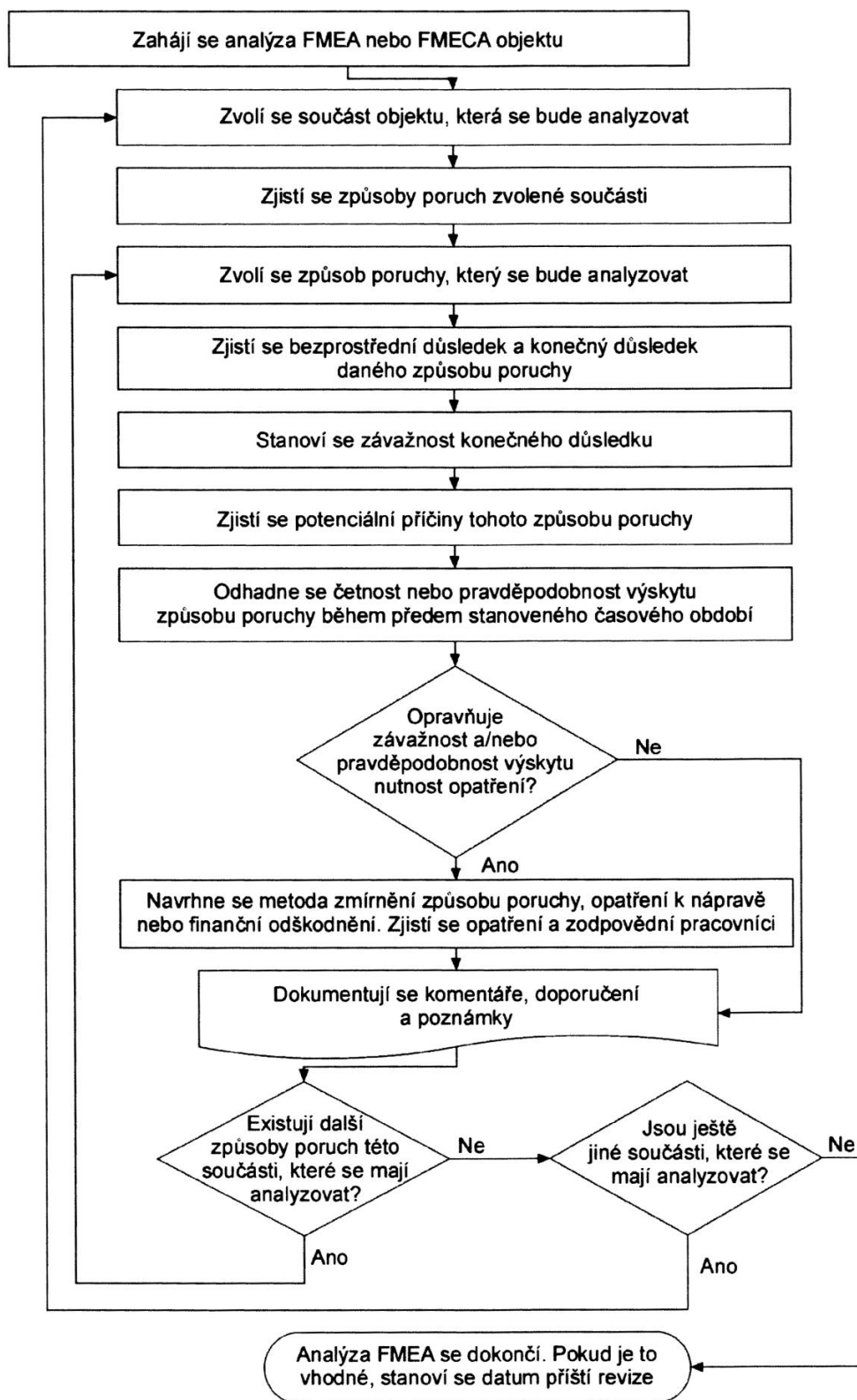
- a) povahu systému ve vztahu k možným důsledkům pro uživatele nebo životní prostředí vyplývajícím z poruchy,
- b) funkční výkonnost (technické charakteristiky) systému nebo procesu,
- c) smluvní požadavky kladené zákazníkem,
- d) obecné bezpečnostní požadavky vyplývající z vládních nařízení nebo oborové bezpečnosti požadavky platné v určitých průmyslových odvětvích,
- e) požadavky vyplývající ze záruky [2].

Tabulka 2.2: Příklad kvalitativní klasifikace závažnosti konečných důsledků

Třída	Úroveň závažnosti	Následek pro osoby nebo životní prostředí
IV	Katastrofická	Způsob poruchy, který by mohl potenciálně vést k poruše základních funkcí systému a tudíž způsobit vážnou škodu systému a jeho prostředí a/nebo zranění osob.
III	Kritická	Způsob poruchy, který by mohl potenciálně vést k poruše základních funkcí systému a tudíž způsobit vážnou škodu systému a jeho prostředí, ale není vážnou hrozbou pro život nebo zranění
II	Okrajová	Způsob poruchy, který by mohl potenciálně zhoršit technické parametry (výkonnost) funkce (funkcí) bez znatelné škody pro systém nebo hrozby pro životní prostředí
I	Bezvýznamná	Způsob poruchy, který by mohl potenciálně zhoršit funkce systému, ale nezpůsobí žádné škody systému a není hrozbou pro život nebo zranění.

2.3.8 Postup analýzy

Přesný postup tvorby analýzy je ukázán na vývojovém diagramu.



Obrázek 2.1 Vývojový diagram tvorby analýzy FMEA [2]

2.4 Tvorba formuláře analýzy FMEA

Formulář FMEA zachycuje podrobnosti analýzy v tabulkové formě a slouží k usnadnění dokumentace analýzy možných závad a jejich důsledků. Na obrázku 2.2 je nevyplněný standardní formulář pro FMEA zařízení. Ačkoliv je obecný postup analýzy FMEA normalizován, může se konkrétní návrh formuláře přizpůsobit aplikaci a požadavkům projektu.

Jednotlivé pozice tohoto formuláře a jejich významy jsou popsány v následující kapitole 2.4.1.

Analýza možných vad a jejich následků
FMEA výrobních zařízení

Číslo FMEA _____ (1) _____ Vypracoval _____ (4) _____ Strana _____ z _____
 Název stroje _____ (2) _____ Model _____ (5) _____ Datum FMEA _____ (7) _____
 Odpovědnost za návrh _____ (3) _____ Datum revize _____ (6) _____ Řešitelský tým _____ (8) _____

												Výsledná opatření				
Název subsystému 9(a) / funkce a výkonné požadavky 9(b)	Potenciální způsob selhání (10)	Potenciální následek selhání (11)	 (12) Závažnost	 (13) Klasifikace	Potenciální příčina selhání (14)	 (15) Výskyt	Stávající plán kontroly a kontrola zařízení (16)	 (17) Odhalitelnost	 (18) RPN	Doporučená opatření (19)	Odpovědnost za opatření a termín splnění (20)	Podniknutá opatření (21)	Závažnost	Výskyt	Odhalitelnost	RPN
												(22)				

Obrázek 2.2: Formulář analýzy FMEA

2.4.1 Popis jednotlivých pozic formuláře FMEA

1) Číslo FMEA

Je to číslo dokumentu FMEA, sloužící především k přehlednosti archivace formuláře FMEA.

2) Název stroje

Název stroje, pro který se vytváří analýza FMEA.

3) Odpovědnost za návrh

Zde se uvádí OEM (Original Equipment Manufacturer). Uvádí se útvar a skupina, která je za návrh odpovědná

4) Vypracoval

Obvykle se zde uvádí jméno, telefon a společnost technika, odpovědného za vypracování FMEA. Pokud se jedná o větší organizace, pak se uvádí také určitý kód zaměstnance.

5) Model

Zde se uvádí číslo modelu zařízení, který analyzujeme.

6) Datum revize

Zde uvádíme datum počáteční revize analýzy FMEA

7) Datum FMEA

The diagram shows a portion of an FMEA table. It has a header row with several empty cells for text. Below the header is a grid of cells. One cell in the header row is shaded grey, indicating where the date of creation and last revision should be entered.

Zde se udává datum vytvoření původní FMEA a datum poslední revize.

8) Řešitelský tým

Patří do něho jména odpovědných pracovníků a útvarů oprávněných určovat a/nebo vykonávat úkoly. Doporučuje se, aby byla uvedena jména, útvar, telefon a adresa každého člena týmu.

The diagram shows a portion of an FMEA table. It has a header row with several empty cells for text. Below the header is a grid of cells. One cell in the header row is shaded grey, indicating where the solving team information should be entered.

9a) Název subsystému

Název analyzovaného subsystému.

9b) Funkce a výkonné požadavky

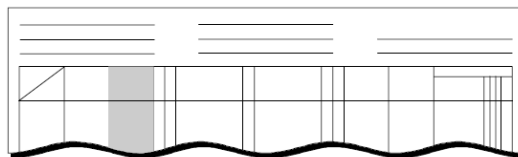
Jde o jednoduchý popis analyzovaného systému (např. soustružení, vrtání, řezání závitu, svařování, montáž). Doporučuje se zapsat příslušné číslo procesu – operace analyzovaného kroku. Tým by měl přezkoumat příslušnou funkci, materiál, proces, normy pro ochranu životního prostředí a bezpečnost. Když systém funguje pouze při určitých podmínkách, je vhodné tyto podmínky popsat. Podmínky mohou zahrnovat technické požadavky, nebo specifikace výkonu stroje (tj. provozní teplotu, dobu cyklu, střední dobu do poruchy (MTBF), střední dobu do opravy (MTTR) aj.).

The diagram shows a portion of an FMEA table. It has a header row with several empty cells for text. Below the header is a grid of cells. One cell in the header row is shaded grey, indicating where the functional requirements should be entered.

10) Potencionální způsob selhání

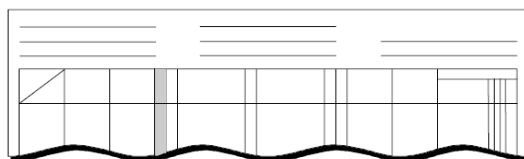
Potencionální způsob poruchy, je definován jako způsob, kterým mohly stroje potencionálně selhat. Porucha technického zařízení je událost, kdy stroj není schopen výroby

podle předem stanovených podmínek. Pro každé možné selhání je třeba, aby se zařízení mohlo vrátit do jeho zamýšlené výrobní normy.



11) Potencionální následek selhání

Potencionální následek selhání je definován jako důsledek selhání režimu na systém.



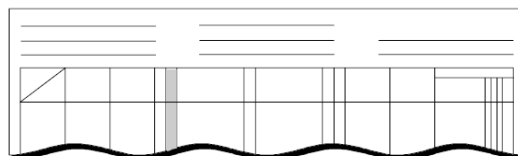
12) Závažnost (S)

Závažnost (S - severity) je hodnocení odpovídající závažnosti účinku potenciální poruchy zařízení a vyjadřuje relativní hodnocení v rámci dané FMEA. Závažnost se skládá ze tří složek: bezpečnosti obsluhy zařízení nebo potencionálního zákazníka, prostojie zařízení a výroby vadných dílů. Každá z těchto složek je nezávislá událost a tým by měl vybrat nejvyšší hodnocení, se kterým se setká. Bezpečnost zaměstnanců je primární kritérium při vytváření hodnocení. Každý důsledek je dán číslem od 1 (žádné nebezpečí) do 10 (kritické). Tato čísla pomohou inženýrům seřadit poruchy podle důležitosti a jejich účinků. Hodnocení závažnosti 9 nebo 10 je obvykle vyhrazen pro takové účinky, které by způsobily újmu na zdraví obsluhy. Pravděpodobnost závažnosti možné příčiny poruchy se určují podle navržené tabulky 2.3 [6].

Tabulka 2.3: Navržená kritéria závažnosti

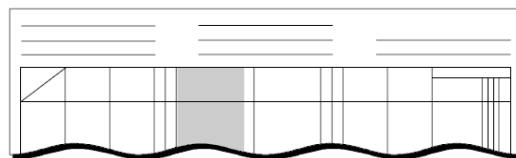
Následek	Kritéria závažnosti	Hodnocení následku
Nebezpečný bez varování	<i>Velmi vysoké hodnocení závažnosti – ovlivňuje provozovatele, zařízení nebo případně pracovníka údržby. Je ovlivněna bezpečnost. Není v souladu s dodržováním vládních nařízení. Bez varování.</i>	10
Nebezpečný s upozorněním	<i>Vysoká závažnost hodnocení – ovlivňuje provozovatele, zařízení nebo pracovníka údržby. Je ovlivněna bezpečnost. Není v souladu s dodržováním vládních nařízení. S upozorněním.</i>	9
Velmi vážný	<i>Výpadek zařízení na více než 8 hodin, nebo výroba vadných dílů po dobu delší 4 hodiny.</i>	8

Vážný	<i>Výpadek zařízení na 4 až 8 hodin, nebo výroba vadných dílů po dobu 2 až 4 hodiny.</i>	7
Mírný	<i>Výpadek zařízení na 1 až 4 hodiny, nebo výroba vadných dílů po dobu 1 až 2 hodiny.</i>	6
Nízký	<i>Výpadek zařízení trvající 30 minut až 1 hodinu, nebo výroba vadných dílů po dobu až 1 hodiny.</i>	5
Velmi nízký	<i>Výpadek trvající méně než 30 minut. Žádná výroba vadných dílů.</i>	4
Nepatrný	<i>Výrobní parametry proměnlivosti přesahují horní/dolní kontrolní limity. Je potřeba přijmout úpravy nebo jiné kontrolní postupy v průběhu výroby – bez vadných dílů.</i>	3
Zanedbatelný	<i>Výrobní parametry proměnlivosti jsou v horní/dolní kontrolní limity. Je potřeba přijmout úpravy nebo jiné kontrolní postupy v průběhu výroby – bez vadných dílů.</i>	2
Žádný	<i>Výrobní parametry proměnlivosti jsou v horní/dolní kontrolní limity. Není potřeba přijmout úpravy nebo jiné kontrolní postupy lze provést během běžné údržby – bez vadných dílů.</i>	1



13) Klasifikace

Někdy se zavádí pro pojem klasifikace také výraz kritičnost. Tento sloupec slouží pro zdůraznění způsobu závad s vysokou prioritou pro technické vyhodnocení se závažností hodnocení 9 nebo 10, které označuje závady ovlivňující bezpečí pracovníků.

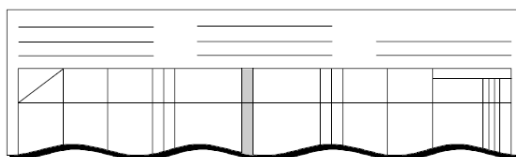


14) Potenciální příčiny selhání

Možný způsob selhání je způsob, kterým by zařízení při plnění požadavků mohlo selhat. Jedná se o popis nekonformity v dané operaci. Při potenciální příčině každého způsobu selhání by si měl tým schopen položit a zodpovědět tyto otázky:

- Co bylo příčinou selhání?
- Jaká událost by mohla způsobit to, že systém není schopen plnit své funkce?
- Jaká příčina může způsobit systému to, že nedokáže plnit zamýšlené funkce?

Všechny možné příčiny selhání režimu by měly být identifikovány a zdokumentovány.



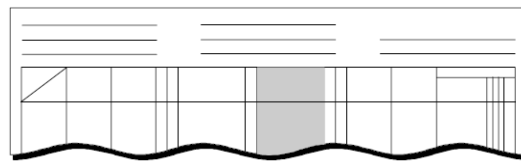
15) Výskyt (O)

Tento krok se nazývá detailní vývojová část procesu FMEA. Výskyt (O – occurrence) může být definován také v procentech. Výskyt je pravděpodobnost, že se specifická příčina závady vyskytne. Znamka charakterizující pravděpodobnost výskytu, má spíše relativní význam, než absolutní platnost. Pravděpodobnost výskytu potenciální závady se určuje na stupnici 1 až 10 podle tabulky 2.4.

Tabulka 2.4: Navržená kritéria výskytu

Pravděpodobnost výskytu vady	Střední doba mezi opravami MTBF	Hodnocení
Velmi vysoká: Neustálé závady	MTBF < 1 h	10
	MTBF = 2 - 10 h	9
Vysoká: Časté opakované závady	MTBF = 11 - 100 h	8
	MTBF = 101 - 400 h	7
Mírná: Občasné závady	MTBF = 401 - 1000 h	6
	MTBF = 1001-2 000 h	5
Nízká: relativně málo závad	MTBF = 2001-3 000 h	4
	MTBF = 3001-6 000 h	3
Vzácná: Závada je nepravděpodobná	MTBF = 6001-10 000 h	2
	MTBF > 10 000 h	1

16) Stávající plán kontroly a kontrola zařízení

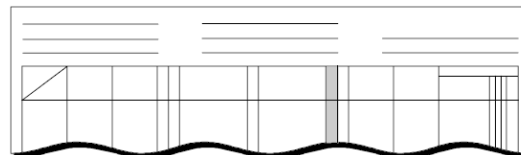


Stávající řízení procesu obsahuje popisy opatření, která buď v možné míře výskytu způsobu nebo příčiny/mechanismu poruchy zabráňují, nebo zjišťují způsob nebo příčinu/mechanismus závady, kdyby se vyskytla. Tato opatření mohou zahrnovat nástroje řízení procesu, jako je předcházení chybám, statistické řízení procesů (SPC) nebo následné hodnocení po ukončení procesu. Hodnocení se může provádět v dané operaci nebo v následných operacích. Je zde třeba uvažovat dva druhy nástrojů řízení:

- a) Prevence: předcházení výskytu závady nebo způsobu závady nebo snížení četnosti jejich výskytu.
- b) Odhalení: odhalení závady nebo způsobu závady vedoucí k nápravným opatřením.

Příkladem kontroly zařízení jsou např.: různé druhy snímačů nebo senzorů.

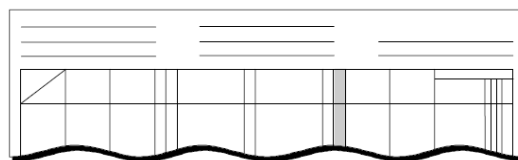
17) Odhalitelnost (D)



Odhalitelnost (D – detection) je relativní známka vztahující se k předmětu jednotlivé FMEA. Je to známka přiřazená nejlepším opatřením k odhalení, uvedeným ve sloupci stávajícího plánu kontroly. Hodnocení se určuje podle tabulky 2.4.

Tabulka 2.5: Navržená kritéria odhalitelnosti

Odhalitelnost vady	Kritéria	Hodnocení
Téměř vyloučená	<i>Správa vývoje/zařízení nezjistí potenciální příčinu a následné poruchy, nebo není žádná kontrola zařízení.</i>	10
Velmi nepravděpodobná	<i>Velmi nepravděpodobná šance, že správa vývoje/zařízení odhalí potencionální příčinu a následné způsoby poruchy.</i>	9
Nepravděpodobná	<i>Nepravděpodobná šance, že správa vývoje/zařízení odhalí potencionální příčinu a následné způsoby poruchy. Kontrola zařízení upozorňuje na bezprostředně hrozící selhání.</i>	8
Velmi malá pravděpodobnost	<i>Velmi nízká šance, že správa vývoje/zařízení odhalí potenciální příčinu a následné způsoby poruchy. Kontrola zařízení zabrání bezprostředně hrozícím selhání (např. zastaví stroj).</i>	7
Malá pravděpodobnost	<i>Nízká šance, že správa vývoje/zařízení odhalí potenciální příčinu a následné způsoby poruchy. Kontrola zařízení zabrání bezprostředně hrozícím selhání. (např. zastaví stroj).</i>	6
Mírná pravděpodobnost	<i>Mírná šance, že správa vývoje/zařízení odhalí potenciální příčinu a následné způsoby poruchy. Kontrola zařízení zabrání bezprostředně hrozícím selhání. (např. zastaví stroj) a izoluje příčinu.</i>	5
Mírně nadprůměrná pravděpodobnost	<i>Mírně nadprůměrná šance že správa vývoje/zařízení odhalí potenciální příčinu a následné způsoby poruchy. Kontrola zařízení zabrání bezprostředně hrozícím selhání. (např. zastaví stroj) a izoluje příčinu. Požadovány kontroly zařízení.</i>	4
Vysoká pravděpodobnost	<i>Vysoká šance, že správa vývoje/zařízení odhalí potenciální příčinu a následné způsoby poruchy. Kontrola zařízení zabrání bezprostředně hrozícím selhání. (např. zastaví stroj) a izoluje příčinu. Může být požadována kontrola zařízení.</i>	3
Velmi vysoká pravděpodobnost	<i>Velmi vysoká šance, že správa vývoje/zařízení odhalí potenciální příčinu a následné způsoby poruchy. Nejsou požadovány kontroly zařízení.</i>	2
Téměř jistá	<i>Správa vývoje/zařízení téměř jistě odhalí potenciální příčinu a následné způsoby poruchy. Nejsou požadovány kontroly zařízení.</i>	1



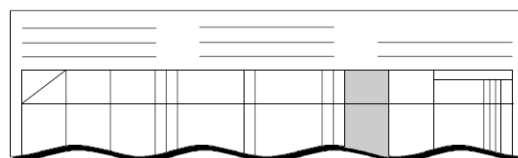
18) RPN

Jednou z metod kvantitativního stanovení kritičnosti je číslo priority rizika RPN (Risk priority number). Riziko je zde hodnoceno subjektivním ukazatelem závažnosti důsledku S, pravděpodobností výskytu O a odhalitelnosti závady D.

$$RPN = S \times O \times D,$$

kde

- S je bezrozměrné číslo, které klasifikuje závažnost, tj. odhad, jak silně budou důsledky poruchy ovlivňovat uživatele nebo systém,
- O klasifikuje pravděpodobnost výskytu nějakého způsobu poruch v předem stanoveném nebo určeném časovém období – ačkoliv tato veličina může být definována spíše jako číslo třídy (klasifikační číslo) pravděpodobnosti výskytu než skutečná pravděpodobnost,
- D klasifikuje odhalitelnost, tj. odhad naděje, že se porucha zjistí a eliminuje před tím, než bude mít vliv na systém nebo zákazníka. Toto číslo se zpravidla klasifikuje v obráceném pořadí než číslo závažnosti nebo výskytu: čím vyšší je detekční číslo, tím méně je pravděpodobné, že dojde k detekci. Nižší pravděpodobnost detekce v důsledku toho vede k vyššímu číslu RPN a vyšší prioritě řešení daného způsobu poruch [2].



19) Doporučená opatření

Návrh akcí k tomu, aby bylo sníženo hodnocení významu, výskytu a odhalitelnosti.

Měla by se uvážit tato opatření:

- a) Snížení známky hodnocení závažnosti: revize návrhu nebo procesu může vést ke snížení známky závažnosti.
- b) Snížení známky hodnocení výskytu vady: Ke snížení pravděpodobnosti výskytu se musí revidovat proces a / nebo návrh.

- c) Snížení známky odhalitelnosti: Preferovanou metodou pro snížení známky odhalitelnosti je uplatnění metod zajištění proti chybám. Všeobecně je zlepšení opatření k odhalování závad pro zlepšování jakosti nákladné a neefektivní. Zvyšování četnosti kontrolních řídicích zásahů není efektivním preventivním opatřením k nápravě a mělo by se použít jen jako dočasné opatření, protože nezbytná jsou neustálá preventivní opatření k nápravě. Důraz se však musí klást na prevenci vad (tj. snížení jejich výskytu), spíše než na jejich odhalování.

20) *Odpovědnost za opatření a termín splnění*

Organizační oddělení, jméno inženýra zodpovědného za doporučená opatření, a cílové datum dokončení.

21) *Podniknutá opatření*

Jakmile je opatření zavedeno, zapíše se zde stručný popis jeho provedení.

22) *RPN provedené po přijatých opatření*

Po provedení přijatých opatření se provede znovu klasifikace, závažnosti, výskytu a odhalitelnosti. Vypočte se RPN a zjistí se, zdali jsou ještě další akce nezbytné. Pokud ano, tak by se měly sloupce 19-22 znovu opakovat.

Pokud nejsou akce provedeny, nechají se sloupce prázdné. [6]

3. Vypracování analýz

Při vypracování analýz se vycházelo z dat obdržených od firmy ARGO-HYTOS s.r.o., od které byla poskytnuta data poruchovosti výrobních zařízení v době od 1. 3. 2006 do 30. 11. 2008. Data se týkala poruchovosti strojů: Index V100, Junker, Kadia-1, Kadia-2, Kellenberger-1, Kellenberger-2. Z těchto dat bylo možné, zjistit intenzitu poruch jednotlivých zařízení a také střední dobu do poruchy a střední dobu do obnovy. Tyto údaje jsou v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1: Střední doby do poruchy, střední doby do obnovy a intenzity poruch

Stroj	Počet poruch	MTBF [h]	Intenzita poruch λ [h^{-1}]	MTTR [h]
Index V 100	59	277,64	$3,6 \times 10^{-3}$	5,52
Junker 1	14	1181,75	$8,46 \times 10^{-4}$	1,46
Kadia-1	29	553,53	$1,81 \times 10^{-3}$	28,86
Kadia-2	24	661,58	$1,51 \times 10^{-3}$	28,63
Kellenberger-1	66	237,79	$4,21 \times 10^{-3}$	13,20
Kellenberger-2	58	279,16	$3,58 \times 10^{-3}$	6,45

3.1 Paretova analýza

3.1.1 Vytvoření Paretovy analýzy

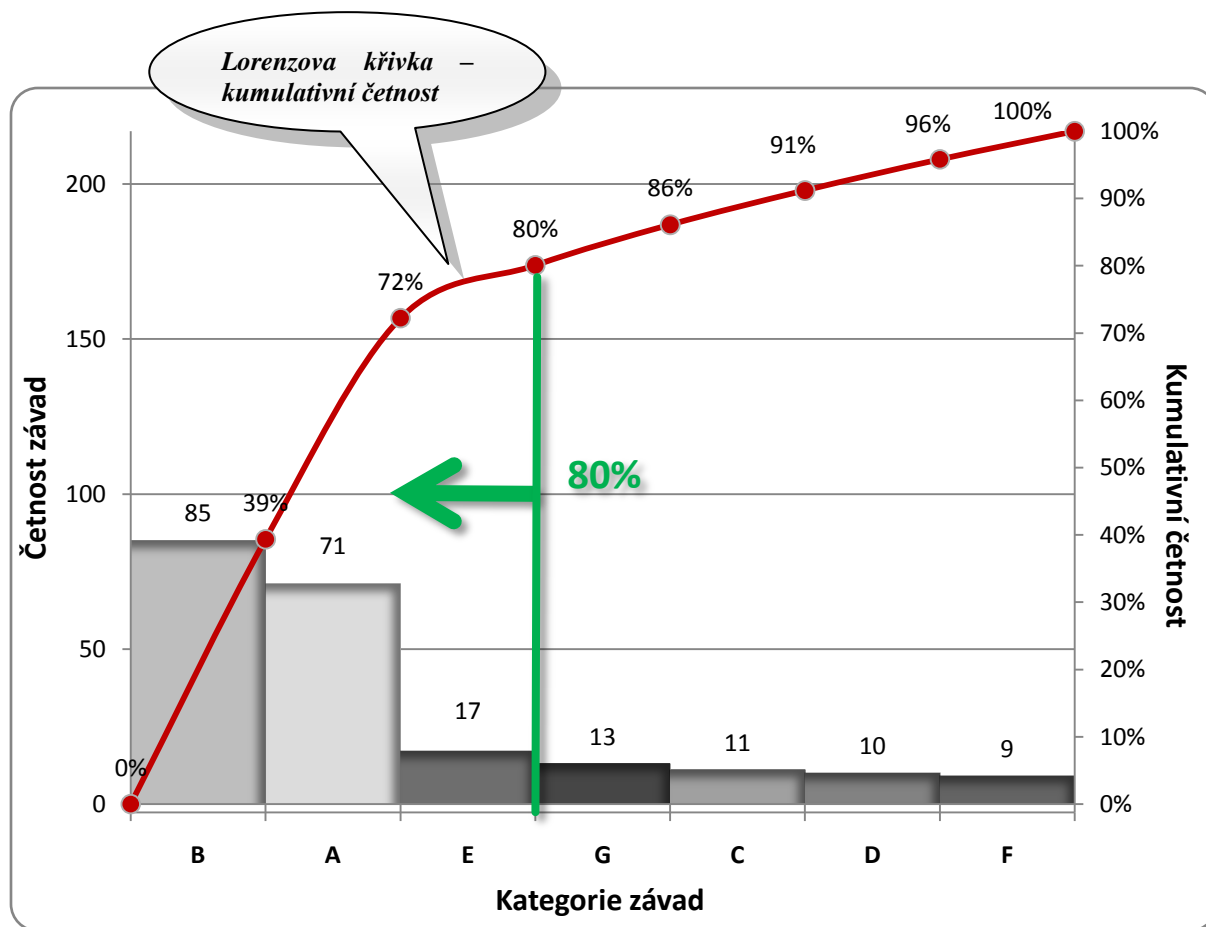
Obdržená data poruchovosti výrobních zařízení z firmy ARGO-HYTOS s.r.o., byla roztržena do kategorií podle tabulky 3.2 a následně seřazena podle četnosti závad, od závady s nevyšší četností po závadu s nejnižší četností (viz tabulka 3.3). K těmto četnostem jednotlivých poruch byl ještě přidán sloupec kumulativní četnosti, což je postupně načítaná četnost jednotlivých (vzestupně uspořádaných) hodnot znaku ve statistickém souboru. Poté byl z tabulky 3.3 vytvořen sloupcový graf četnosti závad a spojnicový graf kumulativní četnosti (viz obrázek 3.1).

Tabulka 3.2: Kategorie závad

<i>Porucha elektroniky</i>	A
<i>Mechanická porucha</i>	B
<i>Porucha hydrauliky</i>	C
<i>Pneumatická porucha</i>	D
<i>Porucha způsobená prasklou hadičkou</i>	E
<i>Únik oleje + výměna</i>	F
<i>Porucha chlazení</i>	G

Tabulka 3.3: Četnost závad

<i>Závada</i>	<i>Četnost</i>	<i>Kumulativní četnost</i>
B	85	0,39352
A	71	0,72222
E	17	0,80093
G	13	0,86111
C	11	0,91204
D	10	0,95833
F	9	1



Obrázek 3.1: Paretova analýza

Tabulka 3.4: Kategorie závad na jednotlivých strojích

<i>Závada na stoji / kategorie závady</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>
INDEX V100	18	23	0	2	9	1	2
JUNKER-1	2	9	0	1	0	1	0
KADIA-1	10	5	2	0	0	0	0
KADIA-2	13	2	0	0	0	0	0
KELLENBERGER-1	26	22	6	7	2	5	4
KELLENBERGER-2	12	24	3	0	6	2	7

Z grafu na obrázku 3.1 vytvořeného podle Paretova pravidla je zřejmé, že bychom se měli zabývat kategoriemi závad A, B a E. Z grafu je vidět, že největší podíl má kategorie závad mechanických (např. porucha řemene nebo kusovníku, zadřený kloub) dále je to kategorie závad elektronických (např. nefunkční snímač nebo čerpadlo, vadný jistič). Podle Paretova pravidla patří ještě do kategorie nejdůležitější závad také kategorie E, do které jsem začlenil závady na strojích, způsobené prasklou hadičkou. V tabulce 3.4 je přehledně vidět jaká kategorie závad má na jednotlivých strojích zastoupení. Vzhledem k rozdělení do kategorií je tato analýza poměrně subjektivní, jelikož záleží na tom, jak a do jakých kategorií poruchy začleníme.

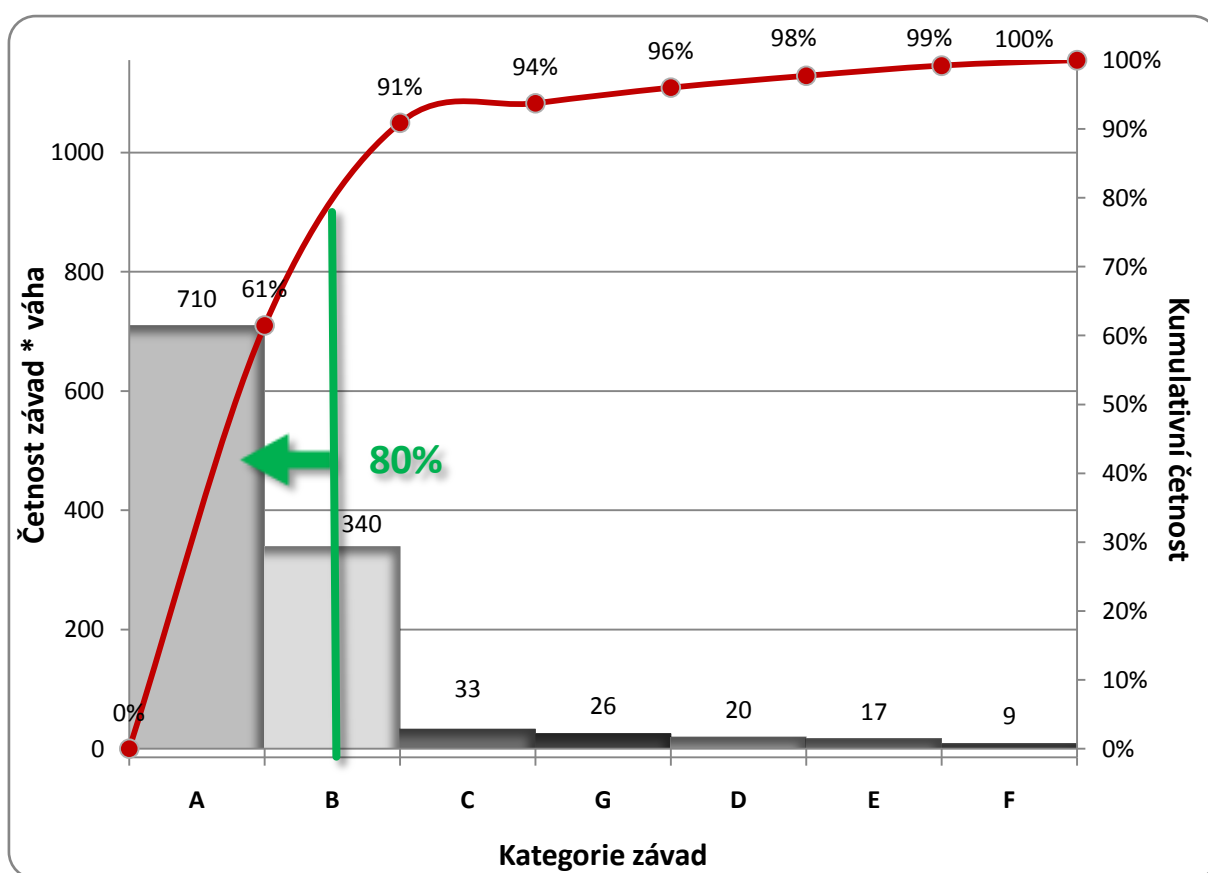
Každá porucha vyřadí stroj z provozu, ovšem každá na různě dlouhou dobu. Např. prasklá hadička je méně závažná porucha a odstaví stroj z provozu na dobu menší než např. závada snímače. Proto by bylo vhodné do Paretovy analýzy zavést v našem případě také hodnocení závažnosti podle délky trvání jednotlivých poruch. Do tabulky 3.5 je již tato váha zařazena. Závažnost byla ohodnocena čísly od 1 do 10, kde váha 1 je nejméně závažné ohodnocení a váha 10 nejzávažnější ohodnocení.

Tabulka 3.5: Váha závad

<i>Závada</i>	<i>Celková doba trvání poruch</i>	<i>Průměrná doba trvání jedné poruchy</i>	<i>Váha</i>
A	1530,25	21,5	10
B	603,75	7,10	4
C	52,00	4,72	3
D	25,50	2,55	2
E	20,75	1,22	1
F	7,50	0,83	1
G	44,25	3,40	2

Tabulka 3.6: Četnost závad

Závada	Četnost	Váha	Četnost * váha	Kumulativní četnost
A	71	10	710	0,61472
B	85	4	340	0,90909
C	11	3	33	0,93766
G	13	2	26	0,96017
D	10	2	20	0,97749
E	17	1	17	0,99221
F	9	1	9	1



Obrázek 3.2: Paretova analýza po zavedení závažnosti

Po zavedení závažnosti je pak na obrázku 3.2 vidět poměrně znatelná změna oproti předchozímu grafu, na kterém nebyla brána v potaz závažnost jednotlivých druhů poruch. Podle grafu na obrázku 3.1 byla nejzávažnější poruchou, tedy poruchou s nejvyšší četností, porucha B – mechanická. Kdežto na obrázku 3.2 je nejzávažnější porucha A – elektronická. Větší vypovídací hodnotu by pro nás měl mít graf na obrázku 3.2, čili graf po zavedení

ohodnocení závažnosti poruch. Z tohoto grafu bychom měli také vycházet při vyhodnocení a případných nápravných opatřeních.

3.1.2 Vyhodnocení Paretovy analýzy

Cílem této analýzy bylo oddělení významných poruch od méně významných. Při vytváření Paretovy analýzy se vycházelo z dat poruchovosti zařízení obdržených od firmy ARGO HYTOS s.r.o., které byly rozděleny do jednotlivých kategorií. Byly vytvořeny dva grafy Paretovy analýzy: graf Paretovy analýzy podle kategorií závad a graf Paretovy analýzy s přidáním hodnocení závažnosti. Výsledky této analýzy jsou subjektivní, protože záleží na tom, jak jsme si poruchovost rozdělili do kategorií. Ale i přesto je Paretova analýza velmi důležitým nástrojem při vyhodnocování spolehlivosti. Větší význam by měl být přikládán grafu na obrázku 3.2, v kterém je zahrnuto i hodnocení závažnosti. Na něm je vidět že nejvíce závažné poruchy jsou poruchy z kategorie elektronických. Tato kategorie obsahuje poruchy, jakými jsou např. chybné snímače nebo čidla, či porucha vyvažování. Právě na tyto poruchy je potřeba se zaměřit. Nejsou k dispozici přesné příčiny těchto poruch, např. jaká příčina stála za poruchou snímače, a proto by chtělo tyto příčiny zjistit a zaznamenat. Podle nich by bylo možné určit různá nápravná učinění, k odstranění nebo alespoň snížení možnosti výskytu těchto vad.

3.2 Analýza FMEA

3.2.1 Vytvoření analýzy FMEA

Vypracování analýzy FMEA je vytvořeno podle formuláře, který je popsán v kapitole 2.4.

Analýza způsobů a důsledků poruch

FMEA výrobních zařízení

Číslo FMEA: 0001

Vypracoval: Milan Příbyl

Strana 1 z 2

Název stroje: Index V100

Model:

Datum FMEA: 12. 5. 2010

Odpovědnost za návrh:

Datum revize:

Řešitelský tým

Funkce a výkonné požadavky	Potenciální způsob selhání	Potenciální následek selhání	Závažnost	Klasifikace	Potenciální příčina selhání	Výskyt	Stávající plán kontroly a kontrola zařízení	Odhaditelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost za opatření a termín splnění
CNC řízený svislý soustruh	Porucha elektroniky	Stroj mimo provoz po dobu 0,5 h	4		Vadný přepínač	1	1. Kontrola a výměna předepsaných náplní, výměna vybraných filtrů – týdně 2. Kontrola vybraných konstrukčních částí 3. Čištění stroje- týdenní údržba, půlroční údržba	1	4		
		Stroj mimo provoz po dobu 26 h	8		Chyba měřidla na vřetenu	3		1	24		
		Stroj mimo provoz po dobu 18 h	8		Porucha pohonu	1		1	8		
		Stroj mimo provoz po dobu 1,5 h	6		Porucha snímače	2		1	12		
	Mechanická porucha	Stroj mimo provoz po dobu 4 h	7		Upadlý doraz v tunelu	1		1	7		
		Stroj mimo provoz po dobu 9 h	8		Vadná část dopravníku	3		1	24		

Obrázek 5.3: Analýza FMEA na stroji Index V100

Analýza způsobů a důsledků poruch

FMEA výrobních zařízení

Číslo FMEA: 0001

Vypracoval: Milan Příbyl

Strana 2 z 2

Název stroje: Index V100

Model:

Datum FMEA: 12. 5. 2010

Odpovědnost za návrh:

Datum revize:

Řešitelský tým

Funkce a výkonné požadavky	Potenciální způsob selhání	Potenciální následek selhání	Závažnost	Klasifikace	Potenciální příčina selhání	Výskyt	Stávající plán kontroly a kontrola zařízení	Odhaditelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost za opatření a termín splnění
CNC řízený svislý soustruh	Mechanická porucha	Stroj mimo provoz po dobu 0,5 h	4		Prasklá hadička chlazení	3	1. Kontrola a výměna předepsaných náplní, výměna vybraných filtrů – týdně 2. Kontrola vybraných konstrukčních částí 3. Čištění stroje- týdenní údržba, půlroční údržba	1	12		
		Stroj mimo provoz po dobu 2,5 h	6		Poškozen podavač palet	2		1	12		
		Stroj mimo provoz po dobu 0,5 h	4		Ucpaný ventil	2		1	8		
		Stroj mimo provoz po dobu 1 h	5		Vadné ložisko	1		1	5		
		Stroj mimo provoz po dobu 1 h	5		Porucha na držáku nože	1		1	5		
	Pneumatická porucha	Stroj mimo provoz po dobu 0,5 h	4		Prasklá vzduchová hadička	1		1	4		

Obrázek 5.4: Analýza FMEA na stroji Index V100

Analýza způsobů a důsledků poruch

FMEA výrobních zařízení

Číslo FMEA: 0002

Vypracoval: Milan Příbyl

Strana 1 z 1

Název stroje: Junker - 1

Model:

Datum FMEA: 12. 5. 2010

Odpovědnost za návrh:

Datum revize:

Řešitelský tým

Funkce a výkonné požadavky	Potenciální způsob selhání	Potenciální následek selhání	Závažnost	Klasifikace	Potenciální příčina selhání	Výskyt	Stávající plán kontroly a kontrola zařízení	Odhaditelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost za opatření a termín splnění
CNC řízená bruska	Porucha elektroniky	Stroj mimo provoz po dobu 0,5h	4		Vadné tlačítko start	1	1. Kontrola a výměna předepsaných náplní, výměna vybraných filtrů – týdně	1	4		
		Stroj mimo provoz po dobu 0,5 h	4		Porucha na vysokotlakém měniči	2		1	8		
	Mechanická porucha	Stroj mimo provoz po dobu 2 h	6		Nefunkční vyvažování	1		1	5		
		Stroj mimo provoz po dobu 1 h	5		Porucha harmoniky na ose	2	2. Kontrola vybraných konstrukčních částí	1	10		
		Stroj mimo provoz po dobu 0,5 h	4		Vadný odmagnetovač	1		1	4		
	Porucha hydrauliky	Stroj mimo provoz po dobu 2 h	6		Prosáknutí oleje	1	3. Čištění stroje- týdenní údržba, půlroční údržba	1	6		
	Pneumatická porucha	Stroj mimo provoz po dobu 1 h	5		Chyba válce	1		1	5		

Obrázek 5.5: Analýza FMEA na stroji Junker - 1

Analýza způsobů a důsledků poruch

FMEA výrobních zařízení

Číslo FMEA: 0003

Vypracoval: Milan Příbyl

Strana 1 z 1

Název stroje: Kadia - 1

Model:

Datum FMEA: 12. 5. 2010

Odpovědnost za návrh:

Datum revize:

Řešitelský tým

Funkce a výkonné požadavky	Potenciální způsob selhání	Potenciální následek selhání	Závažnost	Klasifikace	Potenciální příčina selhání	Výskyt	Stávající plán kontroly a kontrola zařízení	Odhaditelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost za opatření a termín splnění
CNC řízený honovací stroj	Porucha elektroniky	Stroj mimo provoz po dobu 3 h	6		Nefunkční ovládání	1	1. Kontrola a výměna předepsaných náplní, výměna vybraných filtrů – týdně	1	6		
		Stroj mimo provoz po dobu 1 h	5		Nefunkční kabel ke snímači	2		1	10		
		Stroj mimo provoz po dobu 10,5 h	8		Vadný snímač	1	2. Kontrola vybraných konstrukčních částí	1	8		
	Porucha hydrauliky	Stroj mimo provoz po dobu 14,5	8		Špatné propojení trubek	1		1	8		
							3. Čištění stroje-týdenní údržba, půlroční údržba				

Obrázek 5.6: Analýza FMEA na stroji Kadia - 1

Analýza způsobů a důsledků poruch

FMEA výrobních zařízení

Číslo FMEA: 0004

Vypracoval: Milan Příbyl

Strana 1 z 1

Název stroje: Kadia - 2

Model:

Datum FMEA: 12. 5. 2010

Odpovědnost za návrh:

Datum revize:

Řešitelský tým

Funkce a výkonné požadavky	Potenciální způsob selhání	Potenciální následek selhání	Závažnost	Klasifikace	Potenciální příčina selhání	Výskyt	Stávající plán kontroly a kontrola zařízení	Odhaditelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost za opatření a termín splnění
CNC řízený honovací stroj	Porucha elektroniky	Stroj mimo provoz po dobu 1,5 h	6		Posunutý zámek	1	1. Kontrola a výměna předepsaných náplní, výměna vybraných filtrů – týdně	1	6		
		Stroj mimo provoz po dobu 115,5 h	8		Chyba honovací jednotky	1		1	8		
		Stroj mimo provoz po dobu 125 h	8		Nefunkční vřeteno	1		1	8		
		Stroj mimo provoz po dobu 20 h	8		Vadný zdroj	1	2. Kontrola vybraných konstrukčních částí	1	8		
		Stroj mimo provoz po dobu 0,5 h	5		Chyba tlačítka	1		1	5		
		Stroj mimo provoz po dobu 2,5 h	6		Nabouraná hřídel motoru	1	3. Čištění stroje- týdenní údržba, půlroční údržba	1	6		
		Stroj mimo provoz po dobu 2 h	6		Zkrat na kabelu	1		1	6		

Obrázek 5.7: Analýza FMEA na stroji Kadia - 2

Analýza způsobů a důsledků poruch

FMEA výrobních zařízení

Číslo FMEA: 0005

Vypracoval: Milan Příbyl

Strana 1 z 2

Název stroje: Kellenberger - 1

Model:

Datum FMEA: 12. 5. 2010

Odpovědnost za návrh:

Datum revize:

Řešitelský tým

Funkce a výkonné požadavky	Potenciální způsob selhání	Potenciální následek selhání	Závažnost	Klasifikace	Potenciální příčina selhání	Výskyt	Stávající plán kontroly a kontrola zařízení	Odhaditelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost za opatření a termín splnění
CNC řízená bruska	Porucha elektroniky	Stroj mimo provoz po dobu 2 h	6		Chyba snímače	3	1. Kontrola a výměna předepsaných náplní, výměna vybraných filtrů – týdně	1	18		
		Stroj mimo provoz po dobu 80 h	8		Vadné čidlo	1		1	8		
		Stroj mimo provoz po dobu 0,5 h	5		Neposouvá se filtrační papír	1		1	5		
		Stroj mimo provoz po dobu 1 h	6		Nesvítí displej	1	2. Kontrola vybraných konstrukčních částí	1	6		
		Stroj mimo provoz po dobu 3,5 h	6		Nefunguje kryt kotouče	3		1	18		
	Mechanická porucha	Stroj mimo provoz po dobu 33 h	8		Vadná řemenice	3	3. Čištění stroje- týdenní údržba, půlroční údržba	1	24		
		Stroj mimo provoz po dobu 3,5 h	6		Nefunkční kusovník	2		1	12		

Obrázek 5.8: Analýza FMEA na stroji Kellenberger – 1

Analýza způsobů a důsledků poruch

FMEA výrobních zařízení

Číslo FMEA: 0005

Vypracoval: Milan Příbyl

Strana 2 z 2

Název stroje: Kellenberger – 1

Model:

Datum FMEA: 12. 5. 2010

Odpovědnost za návrh:

Datum revize:

Řešitelský tým

Funkce a výkonné požadavky	Potenciální způsob selhání	Potenciální následek selhání	Závažnost	Klasifikace	Potenciální příčina selhání	Výskyt	Stávající plán kontroly a kontrola zařízení	Odhaditelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost za opatření a termín splnění
CNC řízená bruska	Mechanická porucha	Stroj mimo provoz po dobu 3 h	6		Zadřený kloub	1	1. Kontrola a výměna předepsaných náplní, výměna vybraných filtrů – týdně	1	6		
		Stroj mimo provoz po dobu 6 h	7		Chyba geometrie	1		1	7		
		Stroj mimo provoz po dobu 2,5 h	6		Nečistota na ose	1		1	6		
		Stroj mimo provoz po dobu 0,5 h	4		Prasklá hadice	2		1	8		
		Stroj mimo provoz po dobu 2,5 h	6		Únik kapaliny	1	2. Kontrola vybraných konstrukčních částí 3. Čištění stroje- týdenní údržba, půlroční údržba	1	6		
	Porucha hydrauliky	Stroj mimo provoz po dobu 1 h	5		Nedostatek, únik oleje	3		1	15		
		Stroj mimo provoz po dobu 0,5 h	4		Vada na hydraulickém agregátu	1		1	4		
	Pneumatická porucha	Stroj mimo provoz po dobu 3 h	6		Neupíná kleština	3		1	18		

Obrázek 5.9: Analýza FMEA na stroji Kellenberger – 1

Analýza způsobů a důsledků poruch

FMEA výrobních zařízení

Číslo FMEA: 0006

Vypracoval: Milan Příbyl

Strana 1 z 1

Název stroje: Kellenberger - 2

Model:

Datum FMEA: 12. 5. 2010

Odpovědnost za návrh:

Datum revize:

Řešitelský tým

Funkce a výkonné požadavky	Potenciální způsob selhání	Potenciální následek selhání	Závažnost	Klasifikace	Potenciální příčina selhání	Výskyt	Stávající plán kontroly a kontrola zařízení	Odhaditelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost za opatření a termín splnění
CNC řízená bruska	Porucha elektroniky	Stroj mimo provoz po dobu 16,5 h	8		Nefunkční vyvažovací hlava	2	1. Kontrola a výměna předepsaných náplní, výměna vybraných filtrů – týdně	1	16		
		Stroj mimo provoz po dobu 32 h	8		Nefunkční čerpadlo	1		1	8		
	Mechanická porucha	Stroj mimo provoz po dobu 2 h	6		Nefunkční bezpečnostní kryt brusky	1		1	6		
		Stroj mimo provoz po dobu 3 h	6		Prasklá hadička	3	2. Kontrola vybraných konstrukčních částí	1	18		
		Stroj mimo provoz po dobu 1 h	5		Ucpaný ventil chlazení	3		1	15		
	Hydraulická porucha	Stroj mimo provoz po dobu 4 h	7		Nefunkční kleština	2	3. Čištění stroje- týdenní údržba, půlroční údržba	1	14		
		Stroj mimo provoz po dobu 1,5 h	6		Nedostatek oleje	3		1	18		

Obrázek 5.10: Analýza FMEA na stroji Kellenberger – 2

3.2.2 Vyhodnocení analýzy FMEA

Analýza FMEA je kvantitativní analýza, jejíž výsledky se zapisují do formuláře, který zároveň analýzu zpřehledňuje. Z provedené analýzy FMEA šesti výrobních zařízení, je patrné, které poruchy mají na jakém stroji zastoupení a také jaký význam máme jedné či druhé poruše přiřazovat. Hlavním kritériem, podle něhož se analýza FMEA vyhodnocuje, je číslo priority rizika (RPN). Nejvyšší hodnotu RPN v provedené analýze mají poruchy s hodnotou 24. Jedná se o poruchy na stroji Index V100 (porucha dopravníku a porucha měřidla na vřetenu) a o poruchu na stroji Kellenberger – 1 (porucha řemenice). Maximální hodnota RPN, je přitom podle námi navrženého kritéria rovna tisíci. Z toho vyplývá, že ačkoliv v námi provedené analýze jsou poruchy s hodnotou 24 nejvyšší, ve skutečnosti tak závažné být nemusí. Ovšem hodnota priority rizika není jediným kritériem vyhodnocování analýzy FMEA, v praxi se musí bez ohledu na výsledné hodnoty RPN také věnovat pozornost případům s vysokým hodnocením závažnosti potenciální poruchy.

Z analýzy je vidět že nejvyšší hodnocení závažnosti mají poruchy s ohodnocením 8, což podle námi navržené tabulky 2.3, jsou poruchy, které znamenají výpadek zařízení po dobu větší než 8 hodin, ale neznamenají ohrožení bezpečnosti. Takovéto kritérium závažnosti mají poruchy na zařízeních:

- a) Index V100: porucha pohonu, dopravníku a porucha měřidla na vřetenu,
- b) Kadia - 1: porucha snímače a chybné propojení trubek,
- c) Kadia - 2: chyba honovací jednotky, nefunkční vřeteno a nefunkční zdroj,
- d) Kellenberger -1: nefunkční řemenice a čidlo,
- e) Kellenberger - 2: nefunkční vyvažovací hlava a čerpadlo.

Hodnota RPN v námi provedené analýze je nízká, z důvodu velmi dobré odhalitelnosti potenciálních poruch a také nízké četnosti jednotlivých poruch.

4. Závěr

V bakalářské práci byly uvedeny základní principy tvorby analýz spolehlivosti výrobních zařízení. Konkrétně se jednalo o Paretovu analýzu a analýzu způsobů a důsledků poruch (FMEA). Obě tyto analýzy byly posléze aplikovány za účelem zjištění závažnosti poruch výrobních zařízení ve firmě ARGO-HYTOS s.r.o.

Nejprve byla vytvořena Paretova analýza, což je analýza, která se řídí pravidlem 80/20, kdy 80% následků způsobuje 20 % příčin. Cílem této analýzy bylo oddělit závažné kategorie poruch, kterými bychom se měli zabývat, od kategorie poruch méně závažných. Výsledkem této analýzy bylo zjištění, že nejzávažnějšími poruchami, a poruchami, kterými bychom se měli zabývat, jsou poruchy mechanické a především poruchy elektronické.

Druhou analýzou, která byla v bakalářské práci provedena, je kvantitativní analýza FMEA. Tato analýza vychází z hodnocení rizika priority čísla (RPN), které je násobkem tří kritérií. Jedná se o kritéria závažnosti, výskytu a odhalitelnosti. Nejvyšší hodnota RPN dosahovala v námi provedené analýze hodnoty 24. Po vypracování této analýzy, byl podle hodnocení závažnosti poruch zjištěn stejný výsledek, jako u analýzy Paretovy, tudíž že nejzávažnější poruchy jsou poruchy elektronické.

Vytvořením těchto dvou analýz jsme došli ke stejnému závěru, ale přesto je pro nás více vypovídající analýza FMEA. Paretova analýza je jednoduchou, ale subjektivní metodou, která je závislá na rozdělení do kategorií, kdežto analýza FMEA vypovídá o každé poruše zvlášť. Avšak vytvoření obou analýz může být pro sebe navzájem vhodným doplňkem.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN IEC 50(191) (01 0102): 1993, *Mezinárodní elektrotechnický slovník, kapitola 191: Spolehlivost a jakost služeb*, Český normalizační institut, Praha, 1993
- [2] ČSN EN 60812 (01 0675) *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů - Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*, Český normalizační institut, Praha 2007
- [3] Fuchs P., Vališ D., Chudoba J., Kamenický J., Zajiček J.: *Bezporuchovost a životnost, Techniky analýzy bezporuchovosti*, učební text Liberec 2005
- [4] Fuchs P., Vališ D., Chudoba J., Kamenický J., Zajiček J.: *Řízení spolehlivosti*, skripty Liberec 2006
- [5] Fuchs P.: *Využití spolehlivosti v provozní praxi*, skripty, Liberec 2002
- [6] *Handbook Supplement for Machinery, Failure Mode & Effects Analysis*, Ford Motor Company, 1996
- [7] Vorlíček Z., *Spolehlivost a diagnostika výrobních strojů*, Moravské tiskárny Olomouc 1991. ISBN 80-01-00510-0
- [8] *Výkladový terminologický slovník některých pojmů používaných v analýze a hodnocení rizik pro účely zákona o prevenci závažných havárií*, URL: <http://www.vubp.cz/html_oppzh/metodiky/vykladovy_slovník_brezen05.pdf>
- [9] *Failure mode and effects analysis*. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Failure_mode_and_effects_analysis>

- [10] *Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis*. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Failure_Mode,_Effects,_and_Criticality_Analysis
- [11] *Pareto Analysis*. URL: <http://www.managersnet.com/paretoanalysis.html>
- [12] *FMEA and FMECA Information*. URL: <http://www.fmea-fmea.com>